

REMEDIAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO DE GLP ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE INJEÇÃO OXIDANTE E EXTRAÇÃO MULTIFÁSICA

Trabalho de apresentação para o Prêmio GLP de Inovações e
Tecnologia 2025

Categoria:

- Meio Ambiente

ultragaz



Setembro de 2025

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DAS EMPRESAS.....	1
2	INTRODUÇÃO.....	4
3	DEFINIÇÕES.....	6
4	OBJETIVOS	8
5	RESULTADOS BASELINE	9
6	METODOLOGIAS.....	13
7	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	16
8	EXECUÇÃO DAS CAMPANHAS DE INJEÇÃO (ISCO) – RLT22068 – LETS AMBIENTAL (2023).....	22
9	AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PÓS 1ªCAMPANHA DE INJEÇÃO..	29
10	AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA	30
11	IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO (MPE)	34
12	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA.....	35
13	CONCLUSÃO	42
14	DADOS DOS PARTICIPANTES DO PROJETO	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 – Resumo das concentrações obtidas acima do VOI	11
Quadro 7.1 – Propriedades básicas do persulfato de sódio	16
Quadro 7.2 – Componentes do sistema de injeção	17
Quadro 7.3 – Componentes do sistema MPE	19
Quadro 8.7 – Monitoramento dos Parâmetros Físico-Químicos Pré e Pós-Injeção	24
Quadro 10.1 – Modelo Conceitual de Exposição – Solo Subsuperficial	30
Quadro 10.2 – SQI e CMO a Partir do Solo	31
Quadro 10.3 – Modelo Conceitual de Exposição – Água Subterrânea	31
Quadro 10.4 – SQI e CMO a Partir da Água Subterrânea.....	31
Quadro 10.5 – Resultado das SQIs Que Apontaram Risco Na ARSH	32
Quadro 12.1 – Resumo das Substâncias que Apontaram Concentrações Acima do VOI	38
Quadro 12.2 – Comparativo das Concentrações de TPH C9 a C18 (alifático)	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 8.1 – Resultado dos Monitoramentos da Temperatura	25
Gráfico 8.2 – Resultado dos Monitoramentos da Condutividade Elétrica	26
Gráfico 8.3 – Resultado dos Monitoramentos do pH	27
Gráfico 8.4 – Resultado dos Monitoramentos do Potencial de Oxirredução.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 – Mapa de Localização dos Poços de Monitoramento	12
Figura 7.1 – Esquema Ilustrativo da Técnica Isco	18
Figura 7.1 – Esquema Ilustrativo do Sistema MPE.....	21
Figura 10.1 – Mapa de Risco	33
Figura 12.1 – Mapa de Localização do Sistema MPE e Poços de Monitoramento	36
Figura 12.2 - Pluma Horizontal de Fase Dissolvida de TPH C ₉ a C ₁₈ (alifático)	41

1 HISTÓRICO DAS EMPRESAS

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a parceria entre a Ultragaz e a Lets Engenharia Ambiental, por meio da apresentação do estudo técnico de Remediação Ambiental em Área de Distribuição de GLP Através das Técnicas de Injeção Oxidante e Extração Multifásica.

A Ultragaz atua com soluções em energia para negócios e domicílios de forma segura, eficiente e ambientalmente responsável. Com inovação e sempre pensando em levar o melhor para nossos clientes, quando e onde precisarem, trabalhamos para oferecer energias mais limpas e renováveis, tendo como propósito usar nossa energia para mudar a vida das pessoas.

Nos últimos anos, reforçamos nosso protagonismo na transição energética vivida pelo Brasil, investindo em infraestrutura, tecnologia e novas alternativas de energia para os consumidores.

Em 2023, escrevemos mais um capítulo da nossa história consolidando esses projetos e avançando na nossa jornada sustentável.

Na direção de contribuir para um mundo melhor e mais sustentável para todos, a Ultragaz, desde 1937, é uma marca nacional que oferece aos brasileiros conveniência, eficiência e inovação no acesso à energia.

Introduzimos o gás liquefeito de petróleo (GLP) no Brasil – fonte de energia mais limpa e mais segura que o óleo diesel, o carvão mineral e a lenha. O GLP também é fundamental para a matriz energética brasileira, pois possui características como facilidade de manuseio, transporte e armazenamento, amplo alcance geográfico e adequação às características socioeconômicas do País.

Ao iniciarmos a distribuição de GLP no Brasil, transformamos a forma de consumo de energia para cocção.

Temos também uma frente de desenvolvimento e venda de gases especiais, sendo líderes nesse mercado. Para esse produto, contamos com um laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento voltado para análises de GLP, propano e butano. Nosso laboratório é o único do Brasil a ter a certificação ISO 17025, referência internacional para assegurar a capacidade e a competência técnica no

fornecimento de resultados confiáveis e válidos em laboratórios de ensaio e calibração.

Em 2022, seguimos sendo protagonistas na transição energética no país e, acompanhando as mudanças da sociedade e as necessidades das pessoas em suas casas e negócios, ampliamos nossa oferta de soluções, com alternativas ainda mais limpas e renováveis. Para isso, adquirimos duas empresas: Ultragaz Energia Inteligente, solução que conecta geradores de energia elétrica renovável a consumidores, e a NEOgás, distribuidora de gás natural comprimido (GNC) com grande potencial de expansão para a distribuição de biometano. Além da diversificação de portfólio, nosso trabalho em transição energética envolve também a redução de emissões próprias.

Atualmente, continuamos focados em diversificar gradualmente nosso portfólio com soluções energéticas mais sustentáveis e contribuir para uma economia de baixo carbono, tendo como suporte, além da força da marca Ultragaz, nossa capilaridade, eficiência comercial e ampla base de clientes residenciais, empresariais e industriais.

Atualmente, a Ultragaz conta com 19 bases próprias de produção e engarrafamento e 20 unidades-satélite de estocagem e distribuição de GLP, que atendem 23 estados brasileiros e o Distrito Federal. Por meio de um consórcio para compartilhamento de bases operacionais com a Supergasbras, 5 novas bases passam a ser utilizadas para melhor atendimento dos nossos clientes.

A distribuição do GLP domiciliar é feita, principalmente, por meio da rede com 6,2 mil revendedores, sendo o gás envasado em botijões com capacidade para 13 quilos – o gás de cozinha –, além dos botijões para 5,20 e 45 quilos.

Para o mercado empresarial, o abastecimento é feito a granel por meio do transporte de GLP em caminhões de frota dedicada até as unidades de armazenamento que ficam nas instalações dos clientes. As soluções desenvolvidas nesse segmento atendem condomínios, comércios, serviços, indústrias e o agronegócio.

A Lets Engenharia Ambiental, é uma empresa de consultoria e engenharia ambiental, fundada em 2016, com sede em São Paulo e atuação em todo o Brasil,

focada em soluções para o completo gerenciamento de áreas contaminadas, atendendo plenamente às exigências legais aplicáveis para cada demanda.

O corpo técnico é estrategicamente formado por profissionais com mais de 15 anos de experiência, altamente capacitados ao desenvolvimento de projetos ambientais para os mais diversos setores da indústria, com foco final na total satisfação técnica e econômica do cliente.

Possui como missão e objetivos planejar e executar soluções tecnológicas em gestão ambiental para clientes comprometidos em garantir a qualidade dos bens a proteger de forma sustentável para as futuras gerações, com excelência técnica no desenvolvimento de projetos inovadores, contribuindo para a melhoria do setor ambiental nacional.

Em 2021, a Lets alcança o importante marco de execução de projetos em mais de 20 estados em âmbito nacional, além do início da implantação do Sistema de Qualidade.

Visando a garantia da qualidade e excelência técnica em seus serviços, em 2022 recebe a Acreditação pelo CGCRE para realização de Amostragem de Água Subterrânea de acordo com a ISO 17.025, norma internacional que estabelece os requisitos para a competência técnica, imparcialidade e operação consistente de laboratórios de ensaio e calibração, visando a obtenção de resultados válidos e a promoção da confiança em suas atividades.

Em 2024, ocorre a ampliação do escopo de serviços, por meio da capacitação da equipe técnica para a coleta de vapores do solo e ar ambiente, além da ampliação da equipe técnica para montagem interna de sistema de remediação ambiental.

De forma a promover a melhoria contínua, no ano de 2025 a Lets conquista a certificação ISO 9.001, norma internacional que define os requisitos para a implementação e manutenção de um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), atestando o compromisso da organização com a qualidade e proporcionando uma vantagem competitiva ao aprimorar sua credibilidade, eficiência operacional e conformidade com padrões internacionais.

2 INTRODUÇÃO

A indústria de gás liquefeito de petróleo (GLP), enfrenta desafios complexos em função da natureza das substâncias envolvidas em seus processos e seus impactos no meio ambiente.

A cadeia operacional de uma indústria de GLP envolve diversas etapas além do armazenamento e manuseio do próprio gás, que apresentam potencial para a geração de passivos ambientais, especialmente no que se refere à contaminação de compartimentos ambientais como o solo e água subterrânea, caso não sejam gerenciadas adequadamente.

As principais atividades, bem como equipamentos com potencial de contaminação estão relacionadas ao abastecimento de frotas, em função do armazenamento e abastecimento de combustíveis, ao processo de pintura de botijões, que contêm solventes orgânicos e pigmentos metálicos, a presença de tanques de armazenamento de substâncias e o descarte incorreto de resíduos e efluentes.

Os referidos processos apresentam riscos de contaminação ambiental em função principalmente do potencial de vazamentos, derramamentos, infiltrações de substâncias, além da lixiviação a partir de descartes inadequados, que podem contaminar o solo e a água subterrânea.

Diante dos possíveis riscos identificados, o gerenciamento adequado é fundamental para mitigar impactos e garantir a proteção da saúde humana e dos recursos naturais, a partir da identificação, investigação e avaliação dos riscos observados para o planejamento de ações corretivas, a partir da aplicação de técnicas de remediação do solo e da água subterrânea.

Para tanto, o projeto de “Remediação Ambiental em Área de Distribuição de GLP Através das Técnicas de Injeção Oxidante e Extração Multifásica.”, tem como objetivo apresentar a parceria entre a Ultragaz e a Lets Engenharia Ambiental, a partir da apresentação do estudo técnico de gerenciamento ambiental de uma área industrial localizada no Estado de São Paulo, contaminada por hidrocarbonetos derivados do petróleo, ocasionado por uma infiltração de diesel em uma antiga área de abastecimento da frota de caminhões.

Para tanto, o presente estudo apresenta a implantação da técnica de Oxidação Química In Situ (ISCO - In Situ Chemical Oxidation), realizada no empreendimento no ano de 2023, visando o desprendimento dos contaminantes retidos no solo, bem como a destruição dos contaminantes em água subterrânea, concomitante a implantação de um sistema de Extração Multifásica (MPE) no ano de 2024, visando a extração da fase livre e dissolvida presentes na água subterrânea, além da extração de vapores retidos no solo.

A etapa de remediação ambiental foi executada pela Lets Ambiental, conforme diretrizes estabelecidas por meio da Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, emitida pela Cetesb em fevereiro de 2017, que estabelece o procedimento e diretrizes para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

O projeto busca apresentar a eficiência das técnicas de remediação aplicadas em um cenário de riscos associados à saúde humana e ao meio ambiente, além de assegurar a conformidade legal e regulatória junto a órgãos ambientais como CETESB, IBAMA e Secretarias Estaduais de Meio Ambiente, promovendo uma cultura de sustentabilidade e responsabilidade socioambiental nas bases da Ultragaz.

3 DEFINIÇÕES

No contexto de áreas contaminadas, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) desempenha um papel fundamental, sendo referência nacional pela sua atuação em diversas frentes relacionadas ao gerenciamento e recuperação de áreas contaminadas.

Para tanto, de forma a simplificar o entendimento dos termos utilizados no presente estudo, as definições abaixo foram extraídas do documento Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, emitida pela Cetesb em 2017, de forma a apresentar a exata definição do órgão estadual vigente.

- I. Área Fonte: área que abriga ou abrigou fontes potenciais ou fontes primárias de contaminação;
- II. Concentração Máxima Aceitável (CMA): concentração da substância química de interesse acima da qual há necessidade de implementação de medidas de intervenção;
- III. Foco de Contaminação (Hot spot): Porção de uma área contaminada onde são detectadas as maiores concentrações das substâncias químicas de interesse;
- IV. Fonte Potencial de Contaminação: instalação, equipamento ou material a partir do qual as substâncias químicas de interesse podem ser liberadas para um ou mais compartimentos do meio físico;
- V. Indício de contaminação: a constatação da ocorrência de vazamentos ou do manejo inadequado de substâncias, matérias primas, produtos, resíduos e efluentes, bem como da presença das mesmas na superfície do solo ou nas paredes e pisos das edificações e da existência de instalações com projeto inadequado ou fora das normas existentes;

- VI. Mapa de Intervenção: plantas e seções com a localização das medidas de intervenção propostas, especificando as áreas e volumes de atuação das medidas de remediação, de controle institucional e de engenharia;

- VII. Meta de Remediação: Concentração Máxima Aceitável da substância química de interesse que deve ser atingida nos compartimentos do meio físico, por meio da execução de medida de remediação;

- VIII. Ponto de Exposição: local onde ocorre ou poderá ocorrer a exposição de um dado receptor às substâncias químicas de interesse provenientes de uma fonte de contaminação;

- IX. Receptor: indivíduo ou grupo de indivíduos, humanos ou não, expostos, ou que possam estar expostos, a uma ou mais substâncias químicas associadas a uma área contaminada;

- X. Risco à saúde Humana: limites estabelecidos e calculados para cada substância química, a partir da avaliação dos cenários de exposição, receptores e vias de ingresso;

- XI. Via de Ingresso: mecanismo pelo qual uma substância química de interesse (SQI) adentra o organismo do receptor.

4 OBJETIVOS

- Demonstrar a aplicação de medidas de intervenção visando à eliminação e/ou redução dos riscos à saúde humana, ao meio ambiente ou outro bem a proteger, decorrentes de uma exposição aos contaminantes presentes em uma área contaminada, consistindo na aplicação de medidas de remediação e controle institucional;
- Apresentar o gerenciamento ambiental de um passivo ambiental identificado, visando minimizar e/ou eliminar o espalhamento das plumas de contaminação existentes;
- Apresentar a implantação de técnicas de remediação in situ, reduzindo o impacto ambiental em função do tratamento direto no local da contaminação, sem transferência de contaminantes para aterros;
- Assegurar a segurança dos colaboradores e o cumprimento das normas ambientais vigentes;
- Restauração da qualidade ambiental das matrizes atingidas.

5 RESULTADOS BASELINE

A área de interesse do presente estudo trata de uma base industrial da Companhia Ultragaz S/A, com atividade principal de distribuição de gás liquefeito de petróleo (GLP), situada no Estado de São Paulo.

O presente estudo tem como objetivo apresentar as atividades realizadas no empreendimento, para o gerenciamento de um passivo ambiental, decorrente da presença de óleo adsorvido no solo, identificada em investigações ambientais anteriores.

Dessa forma, a Ultragaz, em parceria com a Lets Ambiental, definiu como estratégia inicial para a mitigação do risco identificado, a implantação da técnica ISCO, visando o desprendimento e mobilização da fase retida no solo para a água subterrânea, para posterior oxidação dos contaminantes em fase dissolvida.

Após o atingimento máximo da técnica ISCO, a continuidade do tratamento seria executada por meio da extração multifásica da fase livre (acima da solubilidade) para sua destinação e o tratamento das fases dissolvida e vapores do solo, por meio do sistema MPE.

Para tanto, visando estabelecer os dados iniciais na área de interesse, os resultados obtidos e apresentados no relatório técnico de “Atualização do Quadro Ambiental” (LETS, 2022), foram utilizados como *baseline*, ou seja, valores base, para a tomada de decisão e avaliação da eficiência das técnicas de remediação aplicadas, visando o atingimento das metas de remediação definidas, por meio da redução das concentrações obtidas para concentrações abaixo das máximas aceitáveis.

O referido estudo apresentou a coleta de 30 (trinta) poços de monitoramento de água subterrânea existentes, por meio do método de baixa vazão, para análise laboratorial dos parâmetros BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos), PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos) e TPH (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo).

Os resultados obtidos das amostras coletadas de água subterrânea foram comparados aos valores orientadores de intervenção, disponibilizados por meio das seguintes legislações ambientais vigentes:

- CETESB (2021): Decisão de Diretoria nº 125-2021-E, de 09 de dezembro de 2021 – Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo;
- VROM (2013): MINISTRY OF HOUSING, PHYSICAL PLANNING AND ENVIRONMENT, The Netherlands, 2013, Soil Protection Act;
- Environmental Protection Agency (EPA) – Risk Screening Levels, maio 2023.

Em resumo, resultados acima dos valores orientadores de intervenção indicam que as concentrações obtidas se encontram acima dos limites de potabilidade, ou seja, dos limites estabelecidos para o uso da água subterrânea para o consumo humano.

Caso as concentrações ultrapassem os referidos limites, a etapa posterior trata sobre a avaliação do risco à saúde humana, ou seja, são avaliados os cenários reais de exposição, nos quais as substâncias identificadas podem entrar em contato com os receptores (residenciais, industriais), com o objetivo de definir se as vias de ingresso, como inalação, contato dérmico e ingestão se completam para uma situação de risco.

Cabe ressaltar que um estudo de avaliação de risco à saúde humana, tem como principal objetivo verificar se as vias de ingresso se completam e classificam um risco real, de forma a avaliar a necessidade de implantação de medidas de intervenção e/ou medidas de engenharia, para redução e/ou eliminação das concentrações obtidas, ou somente medidas institucionais, como a restrição ao uso da água subterrânea.

O **Quadro 5.1** apresenta o resumo dos resultados obtidos nas análises de água subterrânea executadas em novembro de 2022 pela equipe da Lets Ambiental, identificadas acima dos Valores Orientadores de Intervenção (VOI), estabelecidos por meio da Decisão de Diretoria nº 125/2021/E.

Quadro 5.1 – Resumo das concentrações obtidas acima do VOI

Substância Química de Interesse (SQI)	Poço de Monitoramento		PM-02	PM-03	PM-04	PM-06	Valor de Intervenção	Referência
	Data de coleta		22/11/2022	22/11/2022	22/11/2022	22/11/2022		
	Unidade	LQ	Resultados Obtidos					
BTEX								
Benzeno	µg/L	1,00	31,61	51,77	191,65	15,31	5,00	Cetesb, 2021
Tolueno	µg/L	1,00	2,17	6,37	272,92	< 1,00	30,00	Cetesb, 2021
TPH								
MCNR	µg/L	300,00	212*J	1.783,00	1.334,00	< 300,00	-	-
HRP	µg/L	300,00	271*J	590,00	1.629,00	< 300,00	-	-
TPH TOTAL	µg/L	300,00	483,00	2.373,00	2.964,00	< 300,00	600,00	VROM, 2013

Substância Química de Interesse (SQI)	Poço de Monitoramento		PM-07	PM-08	PM-09	PM-19	Valor de Intervenção	Referência
	Data de coleta		22/11/2022	22/11/2022	22/11/2022	23/11/2022		
	Unidade	LQ	Resultados Obtidos					
BTEX								
Benzeno	µg/L	1,00	64,68	69,74	24,11	12,42	5,00	Cetesb, 2021
Tolueno	µg/L	1,00	< 1,00	24,30	< 1,00	< 1,00	30,00	Cetesb, 2021
TPH								
MCNR	µg/L	300,00	< 300,00	566,00	335,00	< 300,00	-	-
HRP	µg/L	300,00	< 300,00	711,00	222*J	< 300,00	-	-
TPH TOTAL	µg/L	300,00	< 300,00	1.277,00	557,00	< 300,00	600,00	VROM, 2013

Substância Química de Interesse (SQI)	Poço de Monitoramento		PM-22	PM-23	PM-24	PM-25	Valor de Intervenção	Referência
	Data de coleta		22/11/2022	22/11/2022	22/11/2022	22/11/2022		
	Unidade	LQ	Resultados Obtidos					
BTEX								
Benzeno	µg/L	1,00	11,09	46,50	4,82	51,99	5,00	Cetesb, 2021
Tolueno	µg/L	1,00	< 1,00	31,21	6,85	< 1,00	30,00	Cetesb, 2021
PAH								
Naftaleno	µg/L	0,03	< 0,03	65,00	6,10	1,20	60,00	Cetesb, 2021
TPH								
MCNR	µg/L	300,00	< 300,00	356,00	7.315,00	536,00	-	-
HRP	µg/L	300,00	< 300,00	356,00	1.962,00	336,00	-	-
TPH TOTAL	µg/L	300,00	< 300,00	1.434,00	9.277,00	872,00	600,00	VROM, 2013

Substância Química de Interesse (SQI)	Poço de Monitoramento		PM-32	PM-B	PMN-01A	PMN-09	Valor de Intervenção	Referência
	Data de coleta		22/11/2022	23/11/2022	22/11/2022	23/11/2022		
	Unidade	LQ	Resultados Obtidos					
BTEX								
Benzeno	µg/L	1,00	< 1,00	14,80	6,97	< 1,00	5,00	Cetesb, 2021
Tolueno	µg/L	1,00	< 1,00	18,43	< 1,00	< 1,00	30,00	Cetesb, 2021
PAH								
Naftaleno	µg/L	0,03	0,08	0,60	< 0,03	< 0,03	60,00	Cetesb, 2021
TPH								
MCNR	µg/L	300,00	3.095,00	246*J	< 300,00	256*J	-	-
HRP	µg/L	300,00	475,00	371,00	474,00	548,00	-	-
TPH TOTAL	µg/L	300,00	3.570,00	617,00	516,00	804,00	600,00	VROM, 2013

A Figura 5.1 apresenta o Mapa de Localização dos Poços de Monitoramento, extraído do estudo técnico “RLT22068 – Atualização do Quadro Ambiental”, elaborado pela Lets Ambiental em 2023.

6 METODOLOGIAS

Conforme estabelecido por meio da Decisão de Diretoria nº 038/2017/C o Gerenciamento de Áreas Contaminadas visa reduzir, para níveis aceitáveis, os riscos que estão sujeitos a população e o meio ambiente em decorrência de exposição às substâncias provenientes de áreas contaminadas, por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos riscos e danos decorrentes da contaminação, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas. (CETESB, 2017)

Com o objetivo de otimizar recursos técnicos e econômicos, a Metodologia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas baseia-se em uma estratégia constituída por etapas sequenciais, onde a informação obtida em cada etapa é a base para a execução da etapa posterior. (CETESB, 2017)

Para tanto, o presente estudo apresenta a etapa de Remediação Ambiental, a partir da implantação de técnicas de intervenção, visando a redução dos riscos identificados.

6.1 Técnica de Remediação de Injeção de Oxidantes *In-Situ* (ISCO)

- A metodologia de remediação ISCO é baseada na tecnologia de processos oxidativos, onde ocorre a adição de um oxidante em solução na água subterrânea, promovendo a direta destruição do composto nocivo e sua transformação para um produto final não contaminante, via processos oxidativos avançados.

6.2 Extração Multifásica (MPE)

- O sistema de extração multifásica combina os efeitos da extração de contaminantes em vapores do solo, fase dissolvida, adsorvida e remoção simultânea de produto em fase livre.
- Consiste na instalação de um sistema de ventilação a vácuo, no qual, por meio da sua aplicação nos poços de extração cria um gradiente de pressão negativa, capaz de remover a fase livre, dissolvida e vapor.
- O produto bombeado passa por uma caixa separadora de água e óleo, onde pela diferença de densidade o óleo é separado, para posterior

armazenamento e destinação e, a água contaminada em fase dissolvida é direcionada ao processo de tratamento e filtragem em tanques para atingimento das condições necessárias para seu descarte. O vapor extraído é conduzido em um sistema de carvão ativado para sua filtragem e tratamento e posteriormente é lançado na atmosfera.

6.3 Vantagens

A técnica ISCO possibilita o tratamento do solo e água subterrânea de forma sustentável *in-situ*, evitando a transferência do solo contaminado do empreendimento para destinação final em aterros sanitários.

Possui um tempo de tratamento e reação relativamente rápidos, promovendo a mobilização dos contaminantes retidos no solo para a água subterrânea, meio no qual é possível a oxidação e destruição dos mesmos, transformando-os em produtos menos nocivos.

Após a migração dos contaminantes para a água subterrânea, a implantação do sistema MPE permite o tratamento simultâneo das fases livre (acima da solubilidade), dissolvida e vapor, por meio da filtragem das matrizes vapor e água subterrânea extraídos, em filtros de carvão ativado, permitindo sua liberação no ar em concentrações controladas, por meio de medições e, em relação a água subterrânea, na rede de esgotos da região, conforme enquadramento do efluente gerado nos parâmetros do Art. 19A, do Decreto 8.468/76, que dispõe sobre o lançamento de efluentes na rede coletora de esgoto.

Ambas as técnicas possuem eficiência comprovadas na remediação ambiental de áreas contaminadas por compostos orgânicos como hidrocarbonetos e solventes, substâncias amplamente utilizadas nos processos industriais.

6.4 Desvantagens

Em relação a técnica ISCO, a dispersão do oxidante não é tão eficiente em solos pouco permeáveis, sendo necessário a ampliação da instalação de poços de injeção para eficiência do raio de influência do produto.

O sistema MPE pode apresentar um tempo prolongado de operação em *sites* com altos níveis de contaminação, sendo necessário a disponibilidade de um espaço físico para o sistema por um período maior.

7 ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

7.1 Aplicação da Técnica ISCO

Dentre os oxidantes existentes no mercado, para o referido projeto foi utilizado o persulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$), que se destaca pela sua eficiência na oxidação de compostos orgânicos, maior estabilidade e menor reatividade com a matéria orgânica naturalmente presente no solo.

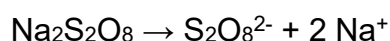
O persulfato de sódio além do seu potencial oxidante, é cineticamente mais rápido e capaz de permanecer mais tempo em contato com a pluma de contaminação, características que o permitem atingir uma extensão maior da área contaminada.

O **Quadro 7.1** apresenta as propriedades básicas do oxidante utilizado neste projeto:

Quadro 7.1 – Propriedades básicas do persulfato de sódio

Identificação	Fórmula molecular	Espécie reativa	Forma	Estabilidade
Persulfato de sódio	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$	Sal	Moderada

O sal de persulfato quando dissolvido em água, se desassocia em cátions de sódio (Na^+) e ânions de persulfato ($\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$), conforme descrito na equação abaixo:



No entanto, o potencial de oxidação e a reatividade do persulfato podem ser aprimorados através da sua ativação com um catalizador, dando origem aos radicais de sulfato (S_2O_4) de potencial -2,4 V, valor este maior que o de ozônio (2,1 V), conforme a equação abaixo:



Os radicais de sulfato são extremamente oxidantes e podem quebrar a molécula da maioria dos compostos contaminantes orgânicos com formação de produtos menos tóxicos como água (H_2O), gás oxigênio (O_2), gás carbônico (CO_2)

e haletos, ou seja, compostos químicos que possuem qualquer um dos representantes da família 7A (flúor, cloro, bromo, iodo e astato).

Neste sentido, a utilização dos oxidantes precursores dos radicais sulfato no tratamento de contaminantes em ambientes subterrâneos tem sido promissora devido à estabilidade em persistência em meio aquoso. Estas propriedades o tornam capaz de alcançar tanto as áreas mais próximas dos poços de injeção, junto ao hot spot, quanto regiões mais distantes da pluma de contaminação.

A introdução do produto oxidante no solo foi realizada por meio de um equipamento hidráulico contendo um agitador mecânico para preparação e mistura de soluções, e 01 (um) tanque com capacidade de 400 L.

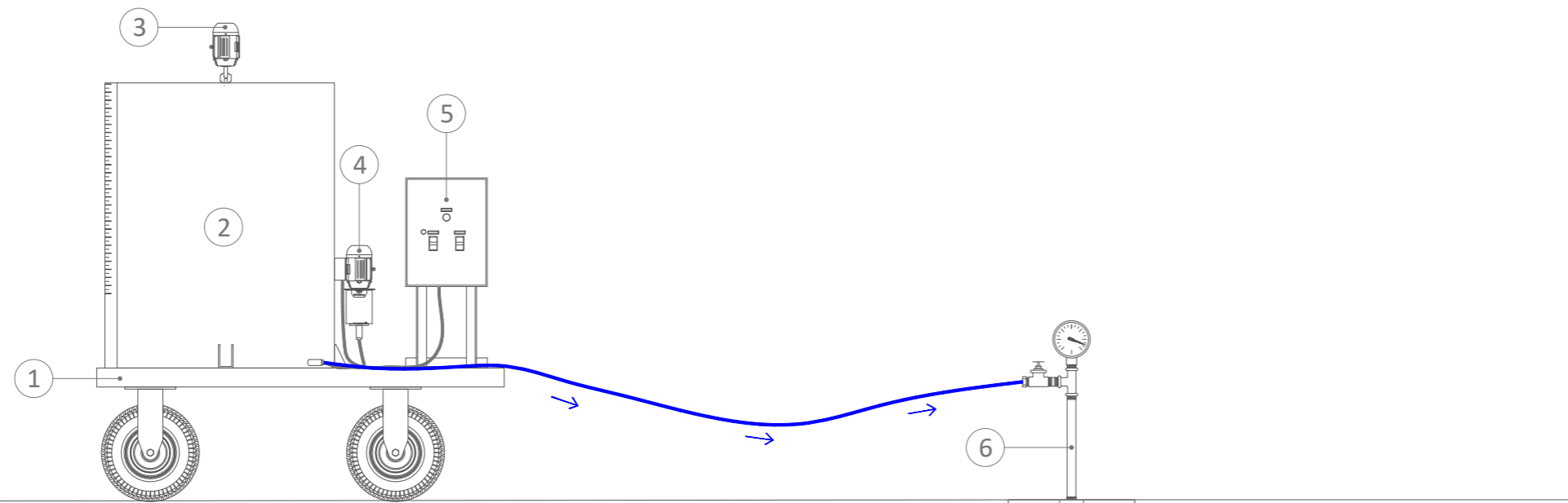
A solução é injetada em poços de injeção, construídos conforme ABNT NBR 15495-1 e 15495-2, que se referem a construção de poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares.

O **Quadro 7.2** apresenta de forma resumida os principais equipamentos que compõe o sistema de injeção utilizado.

Quadro 7.2 – Componentes do sistema de injeção

Item	Equipamento
1	Carro plataforma
2	Tanque de mistura (400 litros)
3	Agitador (1700 rpm e 0,60 cv)
4	Bomba de injeção em polipropileno com selagem hidrodinâmica (0,75 cv)
5	Bomba de recalque (0,5 cv)
6	Painel elétrico
7	Tubos e conexões
8	Mangueiras e mangotes de vedação

Conforme apresentado no estudo técnico RLT22068 – Plano de Intervenção, elaborado pela Lets Ambiental em abril de 2023, a **Figura 7.1** apresenta o Esquema Ilustrativo da Remediação ISCO.



Sistema de Injeção de Oxidante - ISCO

Zona Não Saturada

Elevação do nível d'água gerada durante a injeção

Nível d'água

Poço de Monitoramento


Zona Saturada

Contaminante

Oxidante injetado

Legenda

- Oxidante
- Mangueira de Polietileno (PE)
- ① Carro plataforma
- ② Tanque de mistura (400 L)
- ③ Agitador (1700 rpm e 0,60 cv)
- ④ Bomba de injeção em polipropileno com selagem hidrodinâmica (0,75 cv)
- ⑤ Painel elétrico
- ⑥ Terminal de injeção

Cliente: COMPANHIA ULTRAGAZ S/A	
Relatório: Ensaio Piloto	
Título: Esquema Ilustrativo do Sistema de Remediação ISCO	
Responsável Técnico: Eng. Sílvio C. S. Lima CREA/SP 5063348581	Projeto: RLT 22068
	Escala: Sem Escala
Desenhista: Diego Nogueira	Data: Abril de 2023
Aprovado: Carolina Rambaldi	Figura: 7.1



7.2 Funcionamento do Sistema MPE

A extração multifásica é aplicada na remoção simultânea de produto em fase livre sobrenadante, fase dissolvida na água subterrânea e vapores do solo contaminados. Consiste na aplicação de vácuo em tubos coletores instalados no interior de poços de extração penetrantes na zona saturada, combinando-se os efeitos da extração de vapores do solo e do bombeamento.

A extração é realizada por meio de mangueiras e cabeçotes de extração que proporcionam vedação completa do poço de extração em relação à atmosfera, impedindo também a entrada de qualquer objeto estranho ao poço.

O **Quadro 7.3** apresenta os componentes do sistema MPE.

Quadro 7.3 – Componentes do sistema MPE

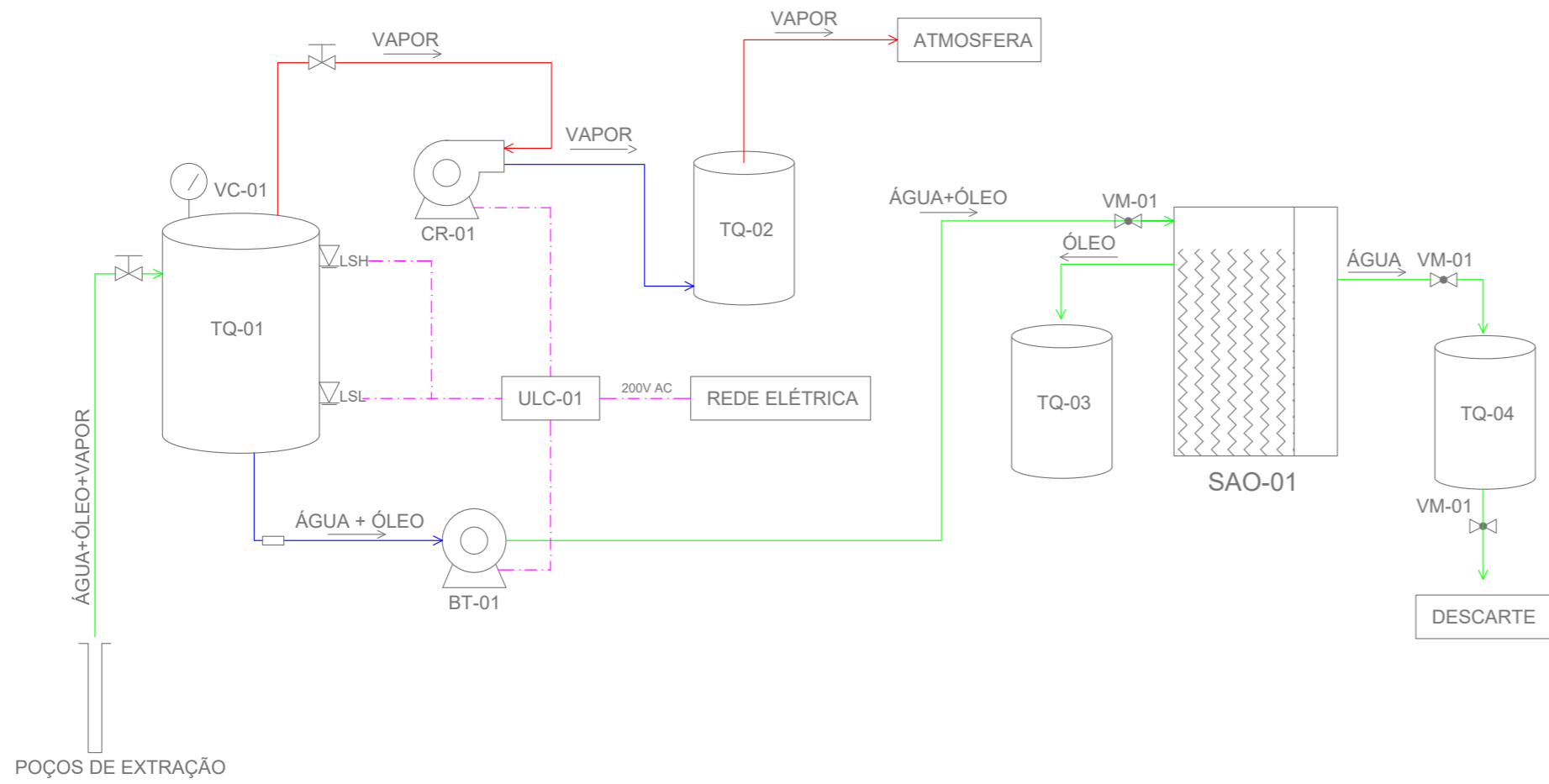
Item	Equipamento
1	Contêiner 2x2 metros
2	Caixa Separadora de água e óleo de 1.000 l/h
3	Tanque de Vácuo de 200 L
4	Compressor radial – 7,5cv
5	Bomba Centrífuga – 0,5cv
6	Painel elétrico
7	Tanque de carvão ativado de 200 L para tratamento de vapores
8	Tanque de carvão ativado de 200 L para tratamento de água

O tubo coletor succiona água até que o nível de rebaixamento desejado seja atingido, quando então se inicia o fluxo multifásico, composto de eventual produto em fase livre sobrenadante, águas subterrâneas e vapores do solo, contaminados.

A profundidade do tubo de captação é regulada de maneira a potencializar a extração das fases em que os contaminantes estão presentes.

O descarte de efluente é realizado por meio de mangueira de polietileno de 1 polegada, após o tratamento com carvão ativado, onde o efluente é encaminhado para a rede de esgoto local.

Conforme apresentado no estudo técnico RLT22068 – Plano de Intervenção, elaborado pela Lets Ambiental em abril de 2023, a **Figura 7.2** apresenta o Esquema Ilustrativo do Sistema MPE.



Legenda

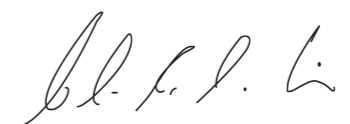
Simbologia

- Tubulação de PVC Soldável
- Mangueira de polipropileno
- Cabeamento de Cobre (Elétrica)
- Tubulação galvanizada
- ▽^{LSH} Sensor de nível alto
- ▽^{LSL} Sensor de nível baixo
- ⊗^{VA} Válvula de amostragem
- ⊞ Registro gaveta (regulagem)
- ⊞ Registro esfera (regulagem)

Equipamentos

- CR-01 Compressor Radial
- BT-01 Bomba Centrífuga
- ULC-01 Unidade lógica de controle
- SAO-01 Separador água-óleo

TABELA DE TANQUES				Fluídos		
TANQUE	DESCRIÇÃO	VOLUME (L)	MATERIAL	VAPOR	ÁGUA	PRODUTO
TQ-01	Tanque de vácuo	200	Ferro fundido	x	x	x
TQ-02	Tanque de carvão ativado	100	Ferro fundido	x		
TQ-03	Tanque de produto	200	Ferro fundido			x
TQ-04	Tanque de filtragem	100	Ferro fundido		x	

Cliente: Companhia Ultragas S.A.		
Relatório: 2ª Avaliação de Eficiência - MPE		
Título: Fluxograma do Sistema de Remediação MPE		
Responsável Técnico: Eng. Silvio C. S. Lima CREA/SP 5063348581	Projeto: RLT23100	Data: Maio de 2025
	Escala: Sem Escala	Figura: 7.2
	Desenhista: Giovanna Bianchi	Aprovado: Carolina Rambaldi



8 EXECUÇÃO DAS CAMPANHAS DE INJEÇÃO (ISCO) – RLT22068 – LETS AMBIENTAL (2023)

A campanha de injeção foi projetada em consonância com os resultados obtidos no Ensaio Piloto do método ISCO, cujos resultados são apresentados no relatório técnico de Plano de Intervenção, elaborado pela Lets Ambiental (2023).

O cálculo da massa de oxidante necessária para degradar os contaminantes, levou em consideração a demanda de oxidante do solo (SOD), Demanda de NaOH (BBC), Fração Orgânica do Solo (FOC), a área a ser remediada de cada poço de injeção, considerando o raio de influência determinado pelo ensaio piloto, a profundidade do aquífero impactado, densidade do solo, determinados no ensaio piloto, cujos resultados encontram-se apresentados no relatório de Plano de Intervenção (Lets Ambiental, 2023).

Os resultados obtidos na execução do ensaio piloto resultaram em uma massa de Persulfato de Sódio de 1.175 Kg, aproximadamente 150 kg de oxidante por ponto.

Para tanto, conforme apresentado no estudo técnico, a primeira campanha de injeção de oxidantes ocorreu em junho de 2023, nos poços de injeção (PI-01 a PI-07), localizados no entorno da antiga área de abastecimento, considerada como *hot spot* do empreendimento.

O processo de preparação da solução de Persulfato foi realizado de acordo com a capacidade do equipamento (400 L) e repetido até que fosse alcançado o volume total de solução desejado.

Antes do início do processo de injeção de Persulfato, foi realizado um monitoramento baseline dos parâmetros físico-químicos: temperatura, condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH) e potencial de oxirredução (ORP), em 14 (quatorze) poços de monitoramento, a fim de registrar as condições iniciais do aquífero.

Um segundo monitoramento foi realizado nos mesmos poços 09 (nove) dias após a injeção de oxidantes, para avaliar a estabilização dos parâmetros físico-químicos no aquífero.

O **Quadro 8.1** apresenta os resultados das campanhas de monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água subterrânea, executados pela equipe da Lets Ambiental previamente à injeção de persulfato, no dia 01 de junho de 2023, e após a execução da injeção no dia 29 de junho de 2023.

Os **Gráficos 8.1 a 8.4** ilustram o comparativo dos resultados de baseline obtidos no monitoramento pré-injeção e os resultados obtidos pós-injeção para os seguintes parâmetros: temperatura, condutividade elétrica, pH e potencial de oxirredução.

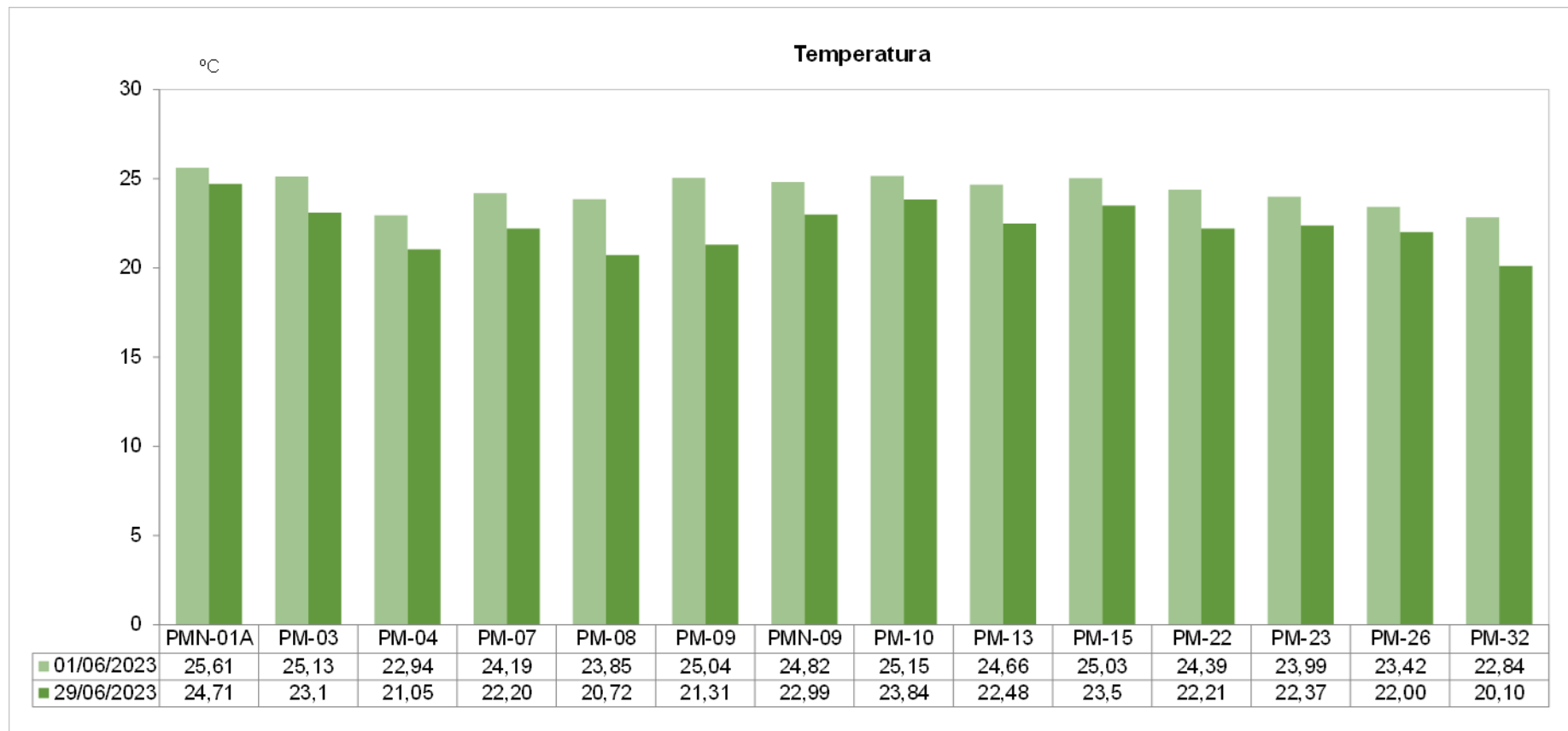
Quadro 8.7 – Monitoramento dos Parâmetros Físico-Químicos Pré e Pós-Injeção

Parâmetros	Poços de Monitoramento													
	PMN-01A		PM-03		PM-04		PM-07		PM-08		PM-09		PMN-09	
Data	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23
Temp. (°C)	25,61	24,71	25,13	23,10	22,94	21,05	24,19	22,20	23,85	20,72	25,04	21,31	24,82	22,99
Cond. (µS/cm)	106,00	133,00	265,00	240,00	299,00	306,00	445,00	363,00	346,00	373,00	420,00	103,00	410,00	151,00
pH	6,92	6,92	6,24	5,83	6,16	6,00	6,45	6,28	6,23	5,94	6,47	6,67	6,52	6,96
Eh/ORP (mV)	14,10	6,20	27,30	-20,00	4,20	-70,00	25,60	7,00	-0,10	-8,60	24,30	6,70	31,70	13,50

Parâmetros	Poços de Monitoramento													
	PM-10		PM-13		PM-15		PM-22		PM-23		PM-26		PM-32	
Data	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23	01/06/23	29/06/23
Temp. (°C)	25,15	23,84	24,66	22,48	25,03	23,50	24,39	22,21	23,99	22,37	23,42	22,00	22,84	20,10
Cond. (µS/cm)	394,00	343,00	423,00	359,00	423,00	372,00	529,00	643,00	1278,00	1273,00	425,00	424,00	102,00	664,00
pH	6,13	5,84	6,64	6,04	6,32	6,05	6,10	5,87	5,96	4,81	6,47	6,28	6,67	5,84
Eh/ORP (mV)	28,70	-10,00	24,70	-31,90	32,40	4,00	22,60	-21,00	17,60	18,70	-6,50	7,07	18,20	27,50

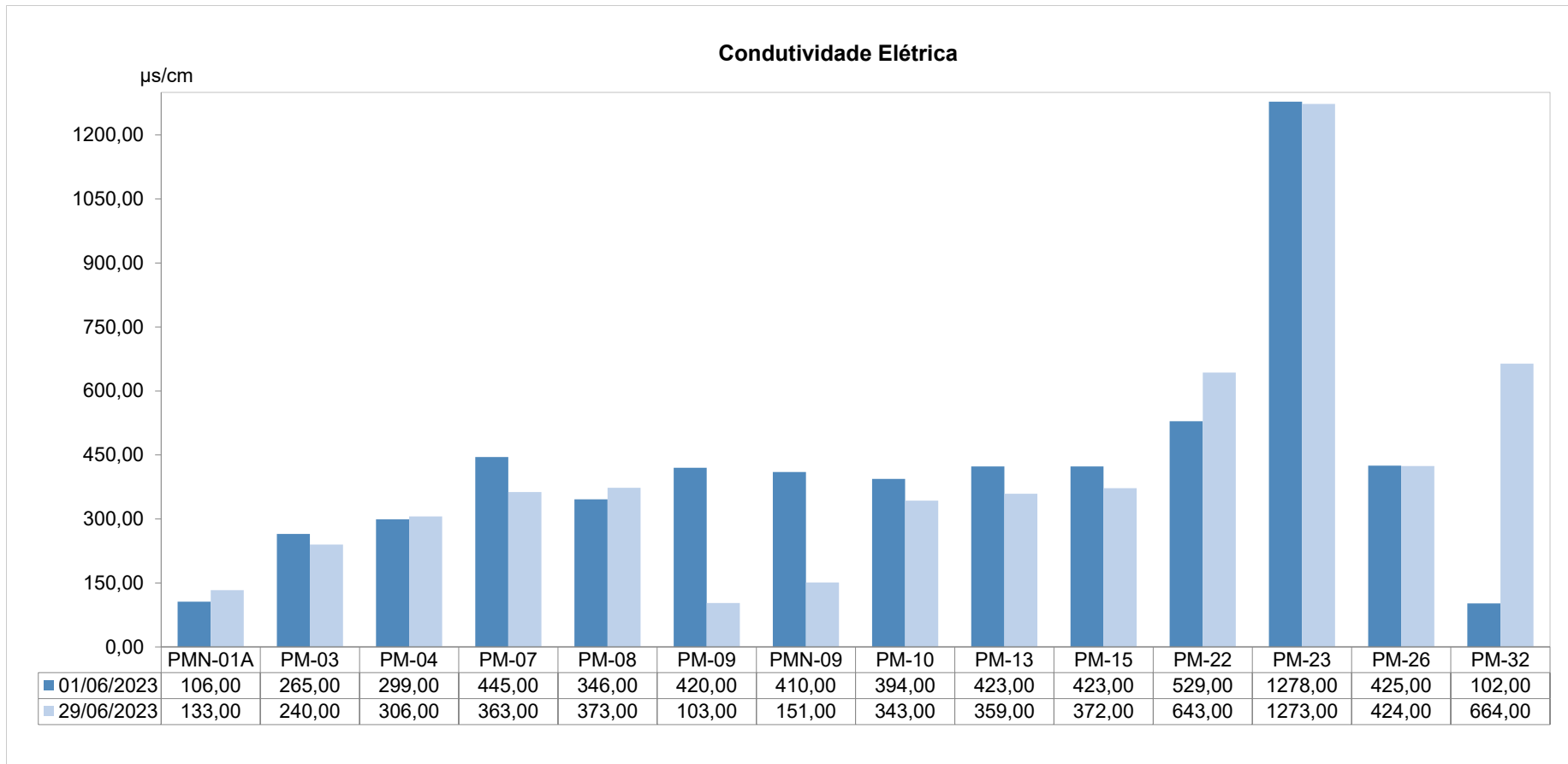
PM = Poços de Monitoramento; PMN = Poços de Monitoramento multiníveis;

Gráfico 8.1 – Resultado dos Monitoramentos da Temperatura



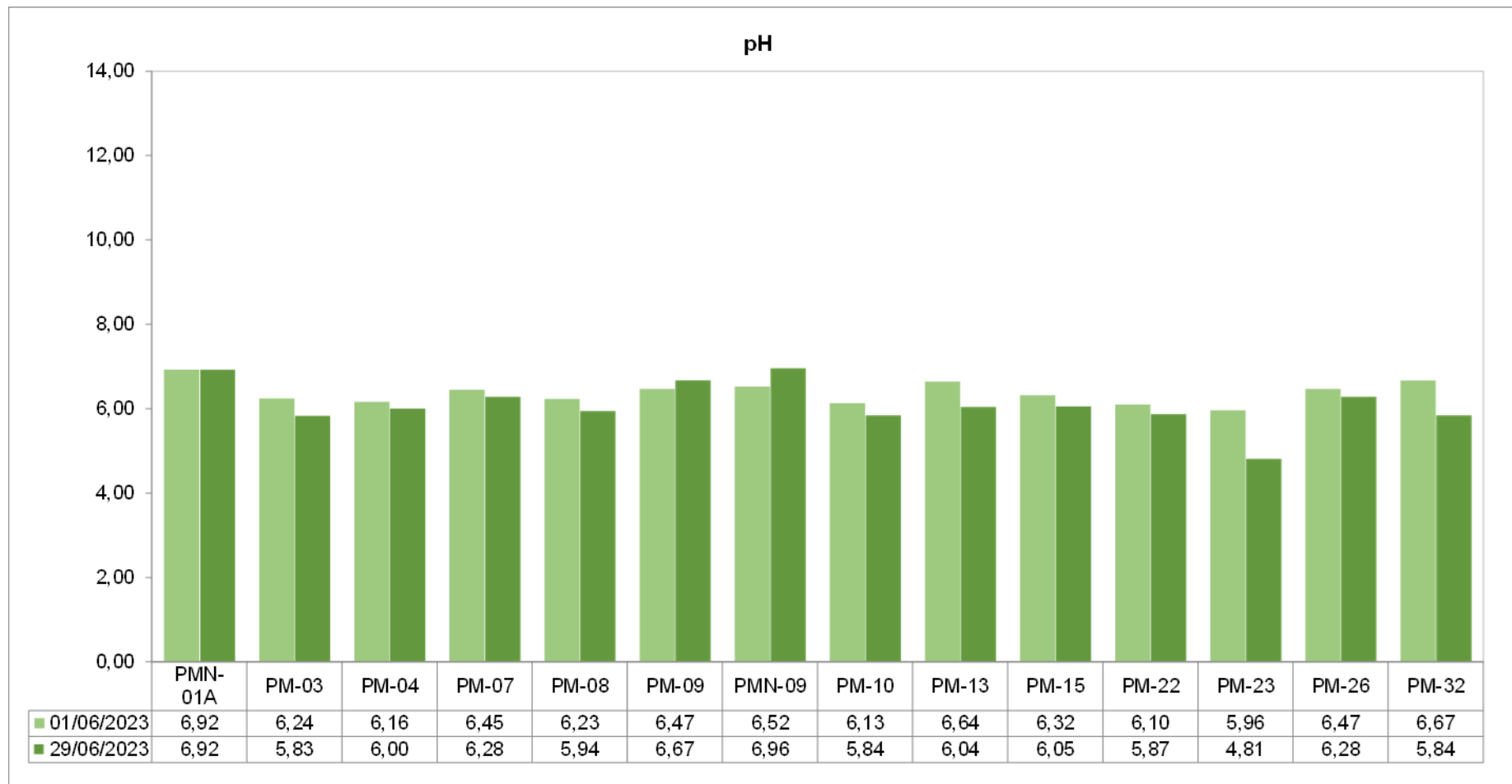
PM = Poços de Monitoramento; PMN = Poços de Monitoramento multiníveis;

Gráfico 8.2 – Resultado dos Monitoramentos da Condutividade Elétrica



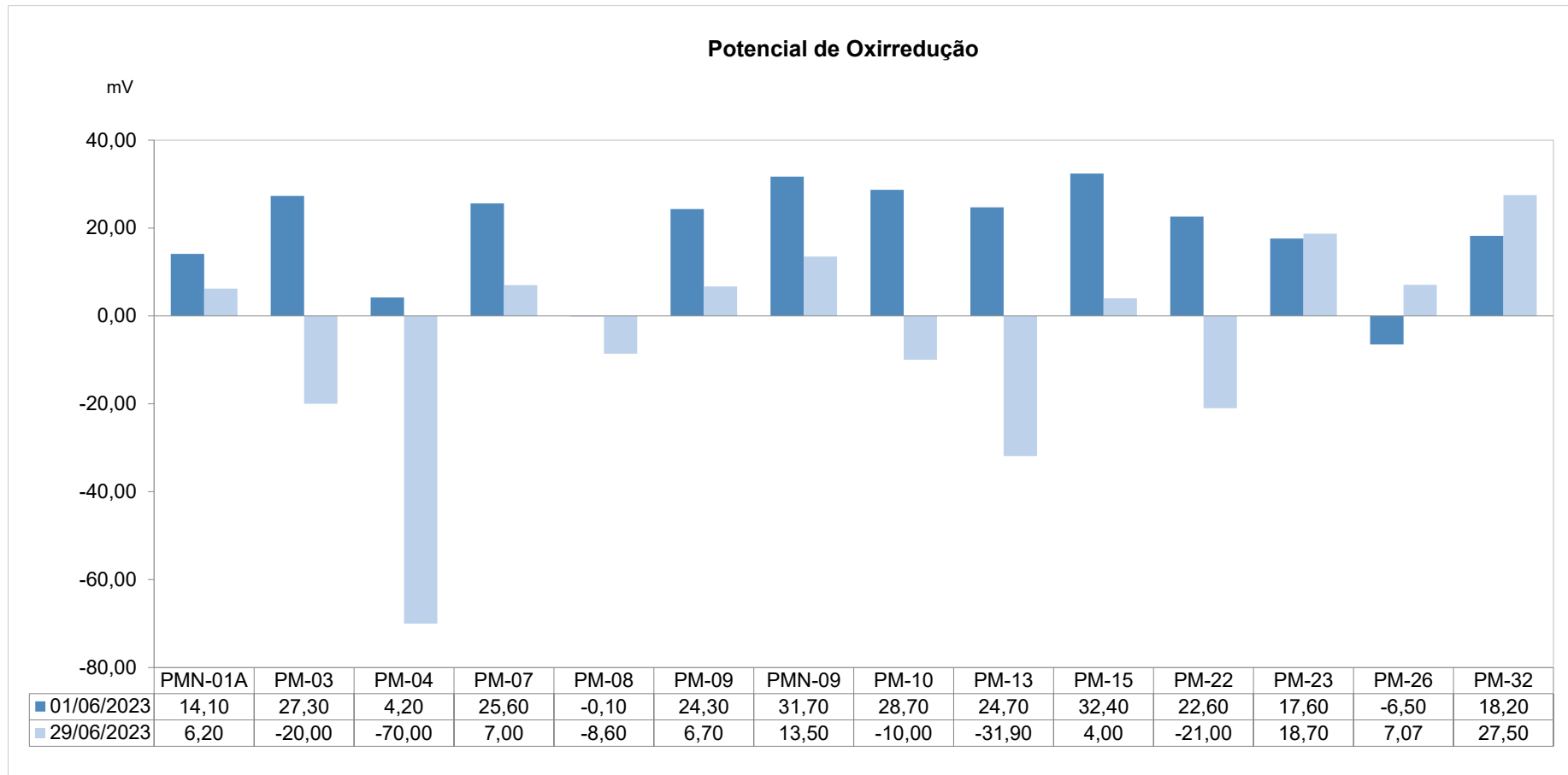
PM = Poços de Monitoramento; PMN = Poços de Monitoramento multiníveis;

Gráfico 8.3 – Resultado dos Monitoramentos do pH



PM = Poços de Monitoramento; PMN = Poços de Monitoramento multiníveis;

Gráfico 8.4 – Resultado dos Monitoramentos do Potencial de Oxirredução



PM = Poços de Monitoramento; PMN = Poços de Monitoramento multiníveis;

9 AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PÓS 1ª CAMPANHA DE INJEÇÃO

A amostragem de água subterrânea foi realizada pela Lets Ambiental em julho de 2023, com base nas seguintes normas:

- ABNT/NBR 15847 - Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento - Método de Purga e a norma ASTM D4448 - 01 (2007) - "Standard Guide for Sampling Ground - Water Monitoring Wells";
- ABNT NBR 16435:2015 - Controle da Qualidade na Amostragem Para Fins de Investigação de Áreas Contaminadas - Procedimento.

A campanha teve como objetivo avaliar a eficiência do método de remediação ISCO, empregado para reduzir as concentrações das substâncias que ultrapassaram os valores de intervenção, além de promover o desprendimento da contaminação identificada retida no solo.

Para tanto, foram coletadas 25 (vinte e cinco) amostras de água subterrânea, proveniente dos poços de monitoramento, para análise dos parâmetros BTEX, PAH e TPH Fracionado.

As concentrações máximas obtidas (CMO) serão utilizadas nos cálculos de risco à saúde humana, para obtenção das concentrações máximas aceitáveis (CMA).

10 AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

Para a elaboração da Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH), o estudo RLT22068 – Avaliação da Eficiência e Avaliação de Risco à Saúde Humana, elaborado pela Lets Ambiental em 2023, apresentaram os cálculos executadas por meio da Planilha de Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação, atualizada em março de 2023, conforme metodologia adotada pela CETESB.

Para o cálculo do risco foram consideradas as CMOs das SQIs detectadas no solo e na água subterrânea, que ultrapassaram os valores de intervenção dispostos na Decisão de Diretoria nº 125/2021/E da CETESB e *Risk Screening Levels* (EPA,2023), a partir das análises laboratoriais para os parâmetros BTEX, PAH e TPH Fracionado.

Uma vez que o principal uso e ocupação da área de estudo e seu entorno é Comercial e Industrial, e, sobretudo, por não existir a pretensão para mudança de uso e ocupação da referida área, o cenário Residencial não foi incluído no referido cálculo.

Em adição, as vias de ingresso por ingestão da água subterrânea e contato dérmico não foram consideradas nos cenários atual e futuro uma vez que não existem poços de captação de água subterrânea para fins de consumo humano na área de interesse, bem como não há previsão de que sejam instalados futuramente.

Portanto, as vias de ingresso avaliadas foram somente inalação de vapores em ambientes abertos e fechados, a partir do solo e da água subterrânea.

Quadro 10.1 – Modelo Conceitual de Exposição – Solo Subsuperficial

Fonte	Caminho de Exposição	Ponto de Exposição	Via de Ingresso	Receptores
Antiga área de abastecimento	Volatilização	Receptor na fonte	Inalação de vapores a partir solo em ambientes abertos e fechados	Trabalhadores Comercial e Industrial

O **Quadro 10.2** apresenta o composto que apontou maior concentração nas amostras de solo, utilizada na ARSH e coletada em maio de 2023, nas sondagens executadas pela Lets Ambiental,

Quadro 10.2 – SQI e CMO a Partir do Solo

Substância Química de Interesse	Unidade	CMO - 22/05/2023		Valor de Intervenção	Referência
		Amostra de Solo			
TPH C9 - C18 (alifático)	mg/Kg	1.815,00		440,00	EPA (2023)

CMO: Concentração Máxima Obtida; *Environmental Protection Agency* (EPA).

Quadro 10.3 – Modelo Conceitual de Exposição – Água Subterrânea

Fonte	Caminho de Exposição	Ponto de Exposição	Via de Ingresso	Receptores
Antiga área de abastecimento	Volatilização	Receptor na fonte	Inalação de vapores a partir da água subterrânea em ambientes abertos e fechados	Trabalhadores Comercial e Industrial

no **Quadro 10.4**, a partir da coleta realizada em julho de 2023.

Quadro 10.4 – SQI e CMO a Partir da Água Subterrânea

Substância Química de Interesse	Unidade	CMO - julho/2023		Valor de Intervenção	Referência	
		Poços de Monitoramento				
		PM-04	PM-24			
Benzeno	µg/L	211,08	-	5,00	Cetesb, 2021	
Tolueno	µg/L	590,23	-	30,00	Cetesb, 2021	
o-xilenos	µg/L	-	425,81	190,00	EPA, 2023	
Xilenos Totais	µg/L	-	1.257,07	500,00	Cetesb, 2021	
Naftaleno	µg/L	-	178,00	60,00	Cetesb, 2021	
TPH alifático	C5 a C8	µg/L	-	9.146,00	1.300,00	EPA, 2023
	C9 a C18	µg/L	-	1.654,00	100,00	EPA, 2023
TPH aromático	C9 a C16	µg/L	-	1.173,00	5,50	EPA, 2023
	C17 a C32	µg/L	1.958,00	-	800,00	EPA, 2023

A partir dos resultados obtidos na ARSH, foram identificados os seguintes riscos:

- Risco não carcinogênico para Inalação de Vapores em Ambientes Fechados (IVAF) para o TPH C9-C18 alifático a partir do solo;

- Risco não carcinogênico para Inalação de Vapores em Ambientes Fechados (IVAF) para o TPH C₉-C₁₈ alifático a partir da água subterrânea.

O **Quadro 10.5** apresenta de forma resumida as substâncias que pontaram risco acima do aceitável.

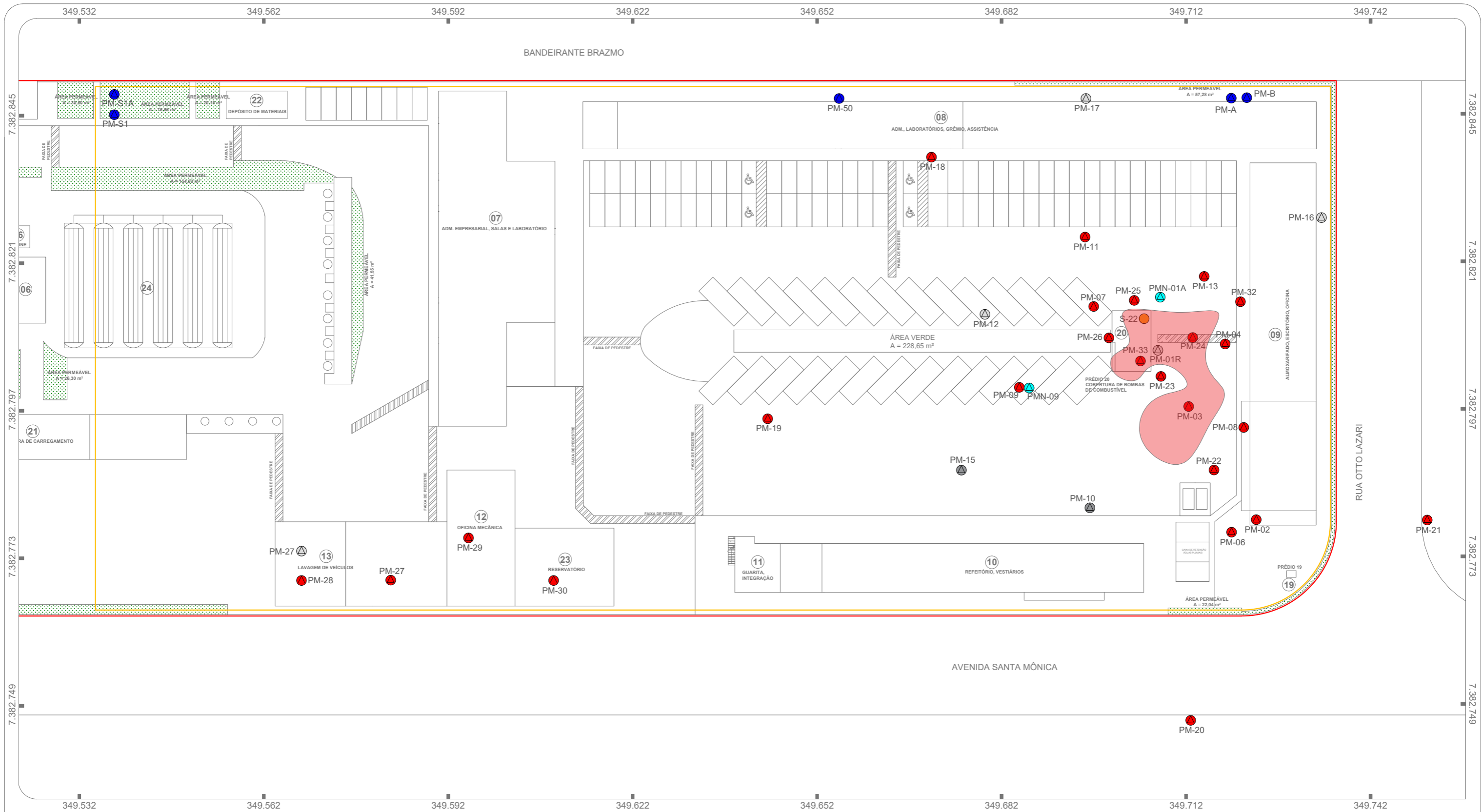
Quadro 10.5 – Resultado das SQIs Que Apontaram Risco Na ARSH

Meios de Exposição	Vias de Exposição	SQI	Unidade	Risco		CMA	Receptor
				Julho de 2023			
Solo Subsuperficial	Inalação de Vapores em Ambientes Fechados	TPH C ₉ -C ₁₈ (alifático)	mg/kg	S-17 (PM-33)	1.815,00	66,40	Trabalhador Comercial e Industrial
				S-22	658,00		
Água Subterrânea	Inalação de Vapores em Ambientes Fechados	TPH C ₉ -C ₁₈ (alifático)	µg/L	PM-03	431,00	296,00	
				PM-24	1.654,00		
				PM-33	655,00		

SQI: Substância Química de Interesse; CMA: Concentração Máxima Aceitável; (-) Não foram identificados riscos à saúde humana

Não foram identificados riscos para as demais SQIs empregadas na Avaliação de Risco para água subterrânea.

A **Figura 10.1** apresenta o Mapa de Risco.



- Legenda**
- Área do Empreendimento
 - Área de Interesse
 - Poço de Monitoramento
 - Poço de Monitoramento Multinível
 - ⊙ Poço Destruido/Obstruido/Não Encontrado
 - Poço de Monitoramento Pertencente à Bandeirante Brazmo
 - Sondagem Ambiental



Cliente: COMPANHIA ULTRAGAZ S/A	
Relatório: Atualização do Quadro Ambiental	
Título: Mapa de Localização dos Poços de Monitoramento	
Responsável Técnico: Eng. Sílvio C. S. Lima CREA/SP 5063348581	Projeto: RLT 22068
Escala: 1:600	Desenhista: Diego Nogueira
Data: Janeiro de 2023	
Figura: 10.1	
Aprovado: Carolina Rambaldi	



11 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO (MPE)

Conforme apresentado no Relatório Técnico RLT23100, elaborado pela Lets Ambiental (2024), a implantação do sistema MPE ocorreu em março de 2024, após a finalização das campanhas de injeção ISCO, executadas entre junho e agosto de 2023.

O sistema permaneceu em funcionamento pelo período de 01 (um) ano, sendo encerrado em abril de 2025.

A linha de extração foi instalada estrategicamente nos poços PB-01, PI-06 e PM-24, que se encontram localizados no *hotspot* da área de estudo, com mangueiras de PVC flexíveis de 1” (uma polegada).

A extração foi realizada por meio de mangueiras e cabeçotes de extração que proporcionam vedação completa do poço em relação à atmosfera, impedindo a entrada de qualquer objeto estranho ao poço. A profundidade do tubo de captação é regulada de maneira a potencializar a extração das diferentes fases em que os contaminantes estão presentes.

Posteriormente, a fase vapor é destinada para o tratamento e redução de suas concentrações em um filtro de ar, composto por um tonel de carvão ativado. É possível aferir os níveis de compostos orgânicos voláteis na entrada e saída do sistema de filtração, visando a análise da eficiência do tratamento. A fase vapor é liberada à atmosfera após o tratamento em carvão ativado.

O efluente gerado no processo é recolhido por meio de uma mangueira de 1” (uma polegada) e passa por uma caixa separadora de água e óleo (SAO) e, em seguida por um filtro composto com carvão ativado e brita.

Visando avaliar a qualidade do efluente tratado, após os primeiros ciclos, a água armazenada foi coletada para análise laboratorial, conforme disposto no artigo 19A do Decreto 8.468/76.

Após a comprovação de todos os parâmetros abaixo dos limites estabelecidos, pelo referido Decreto, os demais ciclos foram direcionados a rede de esgoto local, sendo realizadas coletas mensais para acompanhamento e análise laboratorial.

12 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA

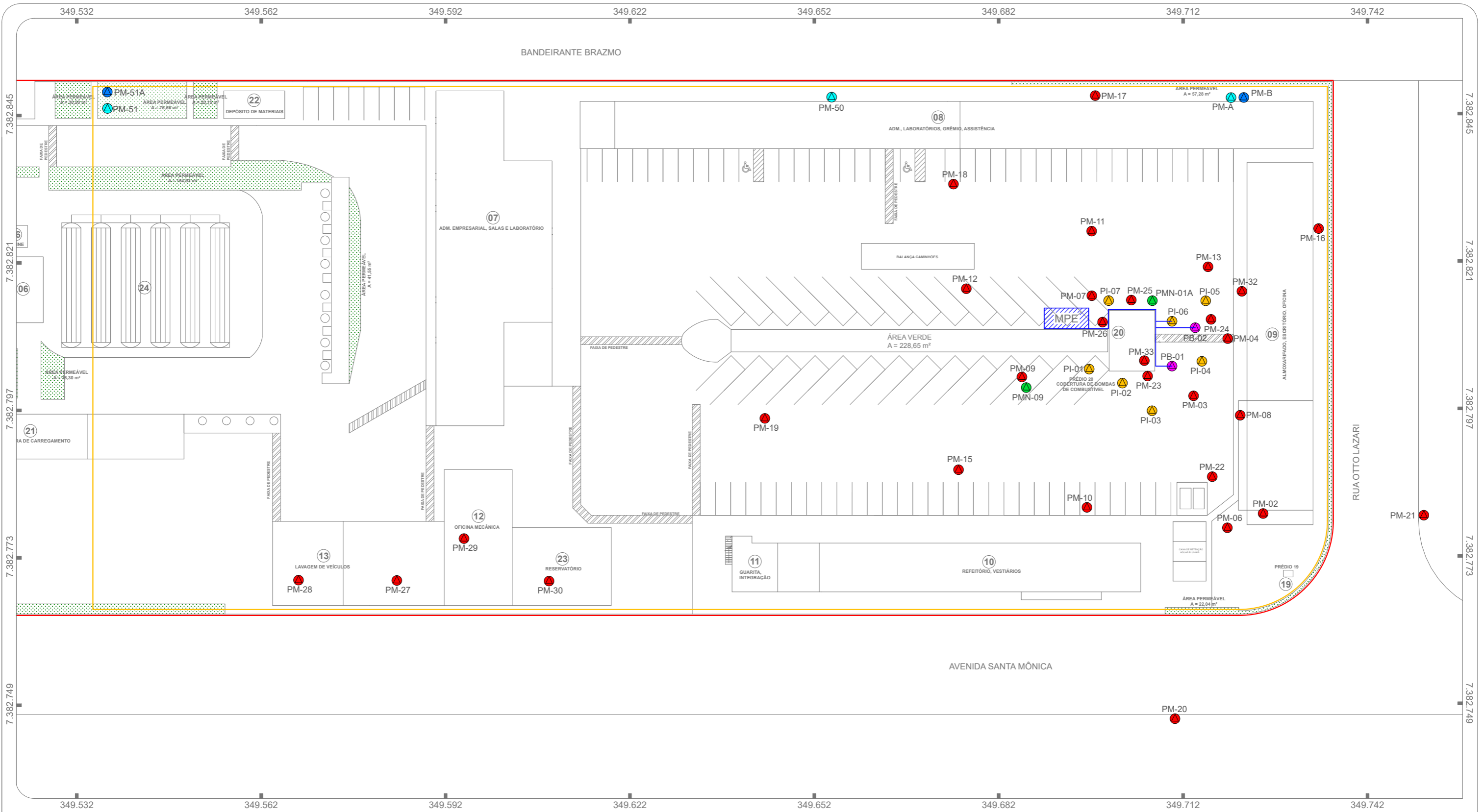
A técnica de Extração Multifásica (MPE – Multi Phase Extraction), foi adotada para a área, com o objetivo de remover a fase livre, de 0,02m de espessura, identificada no poço de bombeamento PB-01, além de reduzir as concentrações das SQIs em fase dissolvida identificadas acima dos valores orientadores e da CMA, conforme apresentado no relatório de 2ª Avaliação de Eficiência de Remediação por meio do Método de Oxidação Química In Situ, apresentado pela Lets Ambiental (2023).

Visando a avaliação da eficiência e operação do sistema de remediação utilizado, as atividades abaixo foram executadas em um período quinzenal pela equipe da Lets Ambiental no período de 01 (um) ano de funcionamento do sistema:

- Medição de nível d'água e possível fase livre com medidor eletrônico de interface em todos os poços de monitoramento;
- Inspeção no local para verificar o funcionamento do equipamento, além de manutenção preventiva periódica para manter o sistema em bom estado de operação;
- Aferição dos indicadores de funcionamento do sistema, principalmente pressão, ciclos executados, saturação do tanque de carvão ativado;
- Coleta mensal de efluente para análise conforme disposto no artigo 19A do Decreto 8.468/76;
- Amostragem semestral de água subterrânea nos poços de monitoramento para análise dos parâmetros BTEX, PAH e TPH Fracionado.

A saturação do carvão ativado foi acompanhada por meio da aferição dos compostos orgânicos voláteis, com o auxílio de um PID (Photoionization Detectors), na entrada do tanque pulmão e na saída do sistema, após a passagem pelo filtro de carvão.

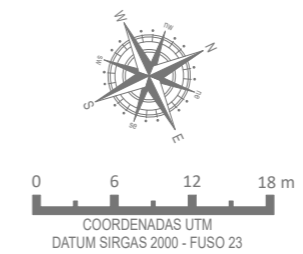
A **Figura 12.1** apresenta o sistema MPE e os poços de monitoramento existentes.



Ref.: Imagem Satélite Google Earth (2025), Escala 1:4.000.

Legenda

- Área do Empreendimento
- Área de Interesse
- Poço de Monitoramento
- Poço de Monitoramento Multinível
- Poço de Monitoramento Pertencente à Bandeirante Brazmo
- Poço de Monitoramento Multinível Pertencente à Bandeirante Brazmo
- ▲ Poço de Injeção
- ▲ Poço de Bombeamento
- Sistema MPE - Multiphase Extraction
- Tubulação do Sistema MPE



Cliente: Companhia Ultragas S.A.	
Relatório: 2ª Avaliação de Eficiência - MPE	
Título: Mapa de Localização Sistema MPE e Poços de Monitoramento Existentes	
Responsável Técnico: Eng. Sílvio C. S. Lima CREA/SP 5063348581	Projeto: RLT23100
Escala: 1:600	Desenhista: Giovanna Bianchi
Data: Maio de 2025	
Figura: (12.1)	
Aprovado: Carolina Rambaldi	



12.1 Amostragem de água subterrânea

As amostragens de água subterrânea foram realizadas em setembro de 2024 e abril de 2025 pela equipe técnica da Lets Ambiental.

A etapa de amostragem foi realizada de acordo com o Procedimento descrito na norma ABNT/NBR 15847 (2010) – Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento – Método de Purga e a norma ASTM D4448- 01(2007) – “Standard Guide for Sampling Ground- Water Monitoring Wells”.

As amostras foram coletadas para análise dos parâmetros BTEX, PAH e TPH Fracionado.

Não foi identificado contaminante de fase líquida não aquosa (Fase Livre) em nenhum dos poços de monitoramento analisados durante a campanha de amostragem realizada.

Foram identificadas concentrações acima dos Valores de Intervenção para a SQI benzeno, tolueno, etilbenzeno, o-xileno, xilenos totais e TPH nas frações C5 a C8 (alifático), C9 a C18 (alifático) e C10 a C32 (aromático), acima dos valores de intervenção estabelecidos pela Cetesb (2021) e EPA (2024).

O **Quadro 12.1** apresenta de forma resumida os poços de monitoramento que apontaram contrações de SQIs acima dos valores de intervenção na campanha realizada em abril de 2025.

Cabe ressaltar que, conforme apresentado no capítulo 10 de Avaliação de Risco à Saúde Humana do presente estudo, somente a Faixa C₉ a C₁₈ (alifático) de TPH Fracionado apresentou concentrações obtidas que ultrapassaram os valores de risco à saúde humana e, portanto, apresentou CMA calculada.

Todas as demais substâncias não apresentaram em nenhuma campanha concentrações acima do risco calculado, e, portanto, não possuem valor de CMA como meta calculada de redução.

Prêmio GLP de Inovação e Tecnologia – 2025

Quadro 12.1 – Resumo das Substâncias que Apontaram Concentrações Acima do VOI

Substância Química de Interesse	Poço de Monitoramento		PM-02	PM-03	PM-04	PM-07	PM-09	PM-10	PM-22	PM-24	PM-25	PM-26	PM-32	Valor de Intervenção	Referência	CMA
	Data de coleta		04/04/2025	03/04/2025	04/04/2025	04/04/2025	03/04/2025	03/04/2025	03/04/2025	03/04/2025	04/04/2025	03/04/2025	04/04/2025			
	Unidade	L.Q.	Resultados Obtidos													
BTEX																
Benzeno	µg/L	1,00	22,02	9,96	8,54	38,27	10,20	10,44	18,53	589,79	31,69	54,92	40,24	5,00	Cetesb, 2021	-
Tolueno	µg/L	1,00	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	1.292,50	1,23	2,13	4,36	30,00	Cetesb, 2021	-
Etilbenzeno	µg/L	1,00	438,86	5,26	3,75	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	130,75	606,28	2,22	8,88	28,52	300,00	Cetesb, 2021	-
o-Xileno	µg/L	1,00	3,38	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	1,81	688,90	<L.Q.	<L.Q.	8,01	190,00	EPA, 2024	-
Xilenos Totais	µg/L	3,00	26,20	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	5,88	2.652,60	<L.Q.	<L.Q.	10,88	500,00	Cetesb, 2021	-
TPH Fracionado																
C5 a C8 (Alifático)	µg/L	20,00	290,00	<L.Q.	203,00	219,00	166,00	153,00	218,00	1.532,00	254,00	230,00	435,00	28,00	EPA, 2024	-
C10 a C32 (Aromático)	µg/L	6,00	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	116,00	<L.Q.	30,00	<L.Q.	6,00	EPA, 2024	-
C9 a C18 (alifático)	µg/L	100,00	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	270,00	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	100,00	EPA, 2024	296,00

L.Q.: Limite de Quantificação; CMA = Concentrações Máximas Aceitáveis; - Sem CMA calculada.

12.2 Comparativos de resultados

A fração de TPH C₉ a C₁₈ (alifático) compreende a faixa de contaminação por óleo diesel (DRO).

Conforme apresentado no relatório técnico da RLT22068 - 1ª Campanha de Avaliação de Eficiência do Método ISCO e Avaliação de Risco à Saúde Humana (Lets Ambiental, 2023), a referida faixa foi a única a identificar risco considerando a via de ingresso de Inalação de Vapores em Ambientes Fechados (IVAF), para o cenário de Trabalhadores Industriais e Comerciais a partir das amostras coletadas nos poços PM-03, PM-24 e PM-33.

Na campanha realizada em abril de 2025, foi apontado concentração da fração de TPH C₉ a C₁₈ (alifático) acima do Valor Orientador de Intervenção da EPA (2024) pontualmente no PM-24, no entanto, abaixo da CMA calculada.

O Quadro 12.2 apresenta o comparativo das concentrações de TPH C₉ a C₁₈ (alifático) obtidas em todas as campanhas realizadas pela Lets Ambiental.

Quadro 12.2 – Comparativo das Concentrações de TPH C₉ a C₁₈ (alifático)

Relatório Técnico	Data de Amostragem	Unidade	Poços de Monitoramento				VOI	CMA Calculada
			PM-03	PM-04	PM-08	PM-17	EPA (2024)	
Lets Ambiental - 1ª ISCO	(jul/2023)	µg/L	431,00	234,00	218,00	136,00	100,00	296,00
Lets Ambiental - 2ª ISCO	(out/2023)		<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.		
Lets Ambiental - 1ª MPE	(set/2024)		N.A.	<L.Q.	<L.Q.	N.A.		
Lets Ambiental - 2ª MPE	(abr/2025)		<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	N.A.		

Relatório Técnico	Data de Amostragem	Unidade	Poços de Monitoramento			VOI	CMA Calculada
			PM-19	PM-24	PM-33	EPA (2024)	
Lets Ambiental - 1ª ISCO	(jul/2023)	µg/L	144,00	1.654,00	655,00	100,00	296,00
Lets Ambiental - 2ª ISCO	(out/2023)		<L.Q.	1.085,00	<L.Q.		
Lets Ambiental - 1ª MPE	(set/2024)		<L.Q.	376,00	<L.Q.		
Lets Ambiental - 2ª MPE	(abr/2025)		<L.Q.	270,00	<L.Q.		

L.Q.: Limite de Quantificação; N.A.: Não Analisado; VOI: Valor Orientador de Intervenção; CMA: Concentração Máxima Aceitável;

Conforme apresentado no estudo RLT23100 – 2ª Campanha de Avaliação da Eficiência do Sistema MPE (Lets, 2025), após a execução da 2ª Campanha de Oxidação Química (Lets Ambiental, 2023), o risco identificado nos poços PM-03 e PM-33 foi totalmente eliminado, bem como as concentrações que ultrapassaram

os valores de intervenção nas amostras coletadas nos poços PM-04, PM-08, PM-17 e PM-19.

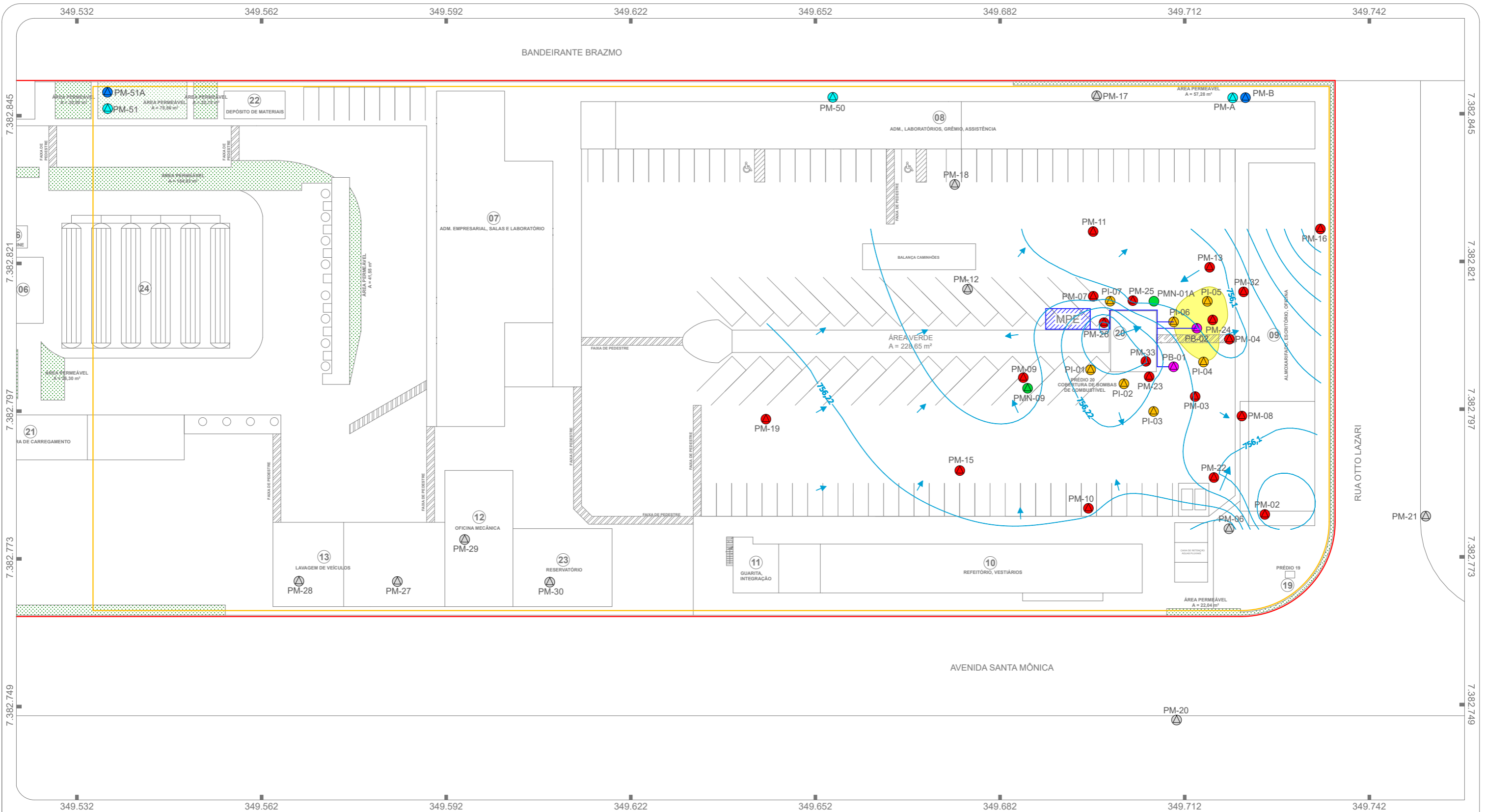
De maneira geral, os poços PM-03, PM-04, PM-08, PM-09 e PM-33 se mantiveram abaixo do Limite de Quantificação do Laboratório, enquanto o PM-24, identificado anteriormente como hot spot do empreendimento apontou redução de 376,00 µg/L para 270,00 µg/L.

É importante destacar que a pluma de contaminação identificada no PM-24 se encontra delimitada pelos PM-03, PM-04, PM-13, PM-25, PM-32 e PM-33, pontos nos quais não foram identificadas concentrações acima do VOI para a referida faixa de TPH Fracionado, o que indica que a maior massa de contaminante estava delimitada no referido ponto e foi atingida pelas técnicas de remediação implantadas no empreendimento.

Também cabe ressaltar que os PM-04 e PM-32 se encontram no limite entre o PM-24 e a primeira área de ambiente fechado, se tornando pontos de conformidade entre a contaminação e os receptores para a via de ingresso de inalação de vapores em ambientes fechados, o que também comprova a eficiência das técnicas utilizadas na redução do risco à saúde humana identificado anteriormente.

A partir dos resultados obtidos, não foram identificadas concentrações acima do risco máximo aceitável para as amostras coletadas, estando o empreendimento apto a iniciar as campanhas de monitoramento para encerramento.

A **Figura 12.2** apresenta a pluma horizontal de fase dissolvida de TPH C₉ a C₁₈ (alifático).

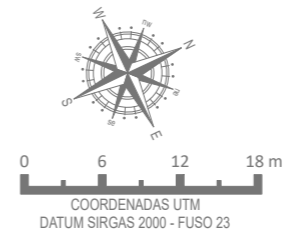


Ref.: Imagem Satélite Google Earth (2025), Escala 1:4.000.

Legenda

- Área do Empreendimento
- Área de Interesse
- Poço de Monitoramento
- Poço de Monitoramento Multinível
- Poço de Monitoramento Pertencente à Bandeirante Brazmo
- Poço de Monitoramento Multinível Pertencente à Bandeirante Brazmo
- Poço de Monitoramento Não Amostrado
- Poço de Injeção
- Poço de Bombeamento
- Sistema MPE - Multiphase Extraction
- Tubulação do Sistema MPE
- Curvas Potenciométricas com indicação da provável direção do fluxo das águas subterrâneas

PLA - PADRÕES LEGAIS APLICÁVEIS - TPH C9 a C18 (alifático) - 100,00 µg/L
 Concentrações de 100,00 - 270,00 µg/L



Cliente: Companhia Ultragaz S.A.		
Relatório: 2ª Avaliação de Eficiência - MPE		
Título: Pluma Horizontal de Fase Dissolvida de TPH C9 a C18 (alifático)		
Responsável Técnico: Eng. Sílvio C. S. Lima CREA/SP 5063348581	Projeto: RLT23100	Data: Maio de 2025
	Escala: 1:600	Figura: 12.2
Desenhista: Giovanna Bianchi		Aprovado: Carolina Rambaldi

13 CONCLUSÃO

O gerenciamento ambiental eficaz de áreas contaminadas, especialmente quando resulta na eliminação dos riscos à saúde humana por meio de remediação ambiental de alta eficiência, gera uma série de benefícios estratégicos, ambientais, sociais e econômicos.

A Ultragaz em parceria com a Lets Ambiental apresentou as atividades executadas em sua base localizada no Estado de São Paulo de forma a demonstrar o desenvolvimento de um gerenciamento ambiental adequado, bem como os impactos positivos associados a implantação de técnicas de remediação ambiental eficientes e objetivas.

Dessa forma, o presente estudo apresenta a implantação das técnicas de Injeção de Oxidantes *In-Situ* (ISCO), concomitante a implantação de um Sistema de Extração Multifásica (MPE), em uma área industrial contaminada com hidrocarbonetos de petróleo, com risco confirmado para a faixa TPH C₉ a C₁₈ (alifático), que compreende a faixa de contaminação por óleo diesel (DRO).

O primeiro e mais direto impacto positivo associado a um gerenciamento ambiental estruturado é a proteção da saúde pública, com a eliminação ou redução significativa da exposição dos receptores atingidos e expostos a substâncias químicas perigosas, prevenindo doenças graves como câncer, problemas neurológicos, respiratórios e reprodutivos. Essa medida contribui diretamente para a melhoria da qualidade de vida das comunidades que vivem ou trabalham próximas às áreas contaminadas.

Do ponto de vista ambiental, a remediação ambiental eficaz promove a sustentabilidade, ao recuperar os recursos naturais degradados, como o solo e a água subterrânea, garantindo a qualidade dos bens a proteger, permitindo seu uso seguro, consciente e responsável, além do fato de que a continuidade do gerenciamento ambiental, promove a consciência ambiental de toda cadeia produtiva em relação ao atendimento de normas de segurança para evitar novos derramamentos.

Outro aspecto ambiental importante é a contenção da migração de contaminantes, que pode ocorrer horizontalmente (espalhando-se para áreas vizinhas) ou verticalmente (atingindo aquíferos mais profundos).

Técnicas de remediação bem aplicadas, evitam que os poluentes se dispersem, promovendo a descontaminação de lençóis freáticos, a proteção de mananciais e a disponibilidade de água limpa para diversos usos, como abastecimento público, irrigação, além da conservação da biodiversidade aquática.

Do ponto de vista estratégico, o gerenciamento adequado de passivos ambientais identificados, promove o fortalecimento da responsabilidade socioambiental da empresa ou organização envolvida.

Ao investir em soluções ambientais eficazes, a instituição demonstra comprometimento com a preservação do meio ambiente, o bem-estar das comunidades, de seus colaboradores e a segurança das gerações futuras.

Essa postura fortalece a reputação corporativa, melhora a imagem institucional perante o público, investidores, órgãos reguladores e demais partes interessadas, e posiciona a empresa de forma positiva em relação aos princípios de *Environmental, Social and Governance* (ESG).

Adicionalmente, a conformidade com a legislação ambiental, alcançada por meio da remediação e do gerenciamento adequado, permite a redução de passivos ambientais e jurídicos, prevenindo multas, ações civis públicas, sanções e restrições operacionais. A empresa reduz significativamente seus riscos regulatórios e melhora sua segurança jurídica, o que também tem reflexo direto em sua saúde financeira e contábil.

Dessa forma, o gerenciamento ambiental bem-sucedido e eficiente representa uma solução estratégica com múltiplos ganhos, consolidando a integração entre saúde, meio ambiente, economia e responsabilidade corporativa.

14 DADOS DOS PARTICIPANTES DO PROJETO

Empresa	Nome	e-mail	Telefone
ULTRAGAZ	Ludmila Junqueira Ferreira	ludmila.ferreira@ultragaz.com.br	(11) 9 5617-0505
ULTRAGAZ	Sandra Cristina Gimenes	sandra.gimenes@ultragaz.com.br	(11) 9 9283-1072
LETS AMBIENTAL	Carolina de Oliveira Rambaldi	c.rambaldi@letsambiental.com.br	(11) 9 6070-5533
LETS AMBIENTAL	Silvio Carlos de Souza Lima	s.lima@letsambiental.com.br	(11) 9 99741-7530